

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA



Tesis Monográfica para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico y Electrónico.

Título

“ESTUDIO DE AUDITORIA ELECTRICA PARA DETERMINAR LA AFECTACIONES EN
EL SISTEMA EEELECTRICO DE ALMACENES EZA”.

Autores:

- Br. Néstor Aníbal Real Reyes 2012-41955
- Br. Franklin Antonio Pérez Alaniz 2007-15059

Tutor:

Ing. Juan González Mena

Managua, febrero 2019

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción	1
II. Antecedentes	3
III. Objetivos del Estudio	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivo Específico	5
IV. Justificación	6
V. Marco Teórico	7
1. Características de las ondas de tensión y corriente	7
2. Fenómenos electromagnéticos	8
3. Características típicas de los fenómenos electromagnéticos	8
3.1. Transitorio impulsivo	8
3.2. Transitorios oscilatorios	9
3.3. Variaciones de tensión de corta duración	9
3.4. Variaciones de tensión de larga duración	11
3.4.1. Clasificación de las Variaciones de Tensión de Larga Duración	12
3.5. Desequilibrio de tensiones	13
3.6. Distorsión de la forma de onda	13
3.7. Fluctuaciones de tensión	17
3.8. Variaciones de frecuencia en el sistema de potencia	17
VI. Hipótesis y Variable	18
VII. Metodología de Trabajo	19
1. Programación de los recursos y el tiempo	20
2. Recopilar datos y recorrido por la planta	20
3. Toma de mediciones en campo	21
4. Analizar los datos	21
5. Elaboración de la cartera de proyectos	22
6. Elaborar el informe de la auditoría eléctrica	23
VIII. Resultados del estudio de auditoría	23
1. Metodología para Monitoreo	24
2. Diagrama Unifilar eléctrico de la instalación	24
3. Panel eléctrico principal de 30 espacios	25

4.	Sistema de puesta a tierra	26
5.	Distribución del consumo energético	27
6.	Resultados de los fenómenos electromagnéticos en la instalación	28
A.	Voltaje Máximo de Línea a Línea	28
B.	Voltaje Mínimo de Línea a Línea	28
C.	Formas de Onda Voltaje y Corriente	29
D.	Eventos Transitorios de Voltaje	30
E.	Espectro Armónico en la Señal de Voltaje (THDv)	31
F.	Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi)	31
G.	Distorsión Armónica en Voltaje (THDv)	32
H.	Distorsión Armónica en Corriente (THDi)	32
I.	Distorsión Armónica en Voltaje (Componente Individual) (THDv)	33
J.	Distorsión Armónica en Corriente (Componente Individual) (THDi)	33
K.	Corriente Máxima de Línea	34
IX.	Conclusiones	34
X.	Bibliografía	35

I. I n t r o d u c c i ó n

El objetivo del siguiente trabajo de tesis tuvo como resultado el estudio de auditoria eléctrica para determinar las afectaciones en el sistema eléctrico de ALMACENES EZA con la finalidad de conocer el comportamiento actual del sistema eléctrico y recomendar soluciones a los problemas de energía.

La auditoria eléctrica podría resumirse como el conjunto de acciones necesarias para realizar un diagnóstico del uso que una empresa le da a la energía en sus diferentes actividades productivas y administrativas. Por lo tanto, el objetivo de una auditoria eléctrica es el de recomendar acciones que permitan un uso más eficiente de la energía. No se trata necesariamente de consumir menos energía.

La auditoría eléctrica se puede considerar como una de la etapa dentro de un programa de uso eficiente de la energía, en la cual se obtienen los conocimientos necesarios sobre una planta, instalación o proceso que permite expresar en forma cuantitativa sus características de operación, con el objetivo de formular acciones que resulten en la reducción de costos, mediante la utilización óptima de los recursos energéticos.

En la intención de implementar una auditoria eléctrica dentro de un programa de conservación y ahorro de energía es aconsejable resaltar la importancia de que exista un equipo de trabajo dentro de la empresa que tenga bajo su responsabilidad el tema de la energía.

Por otra parte, la calidad de la energía eléctrica puede definirse como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS suministrado al usuario; esto referido a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico.

Así mismo se ha determinado que uno de los problemas más comunes que ocasiona el desperdicio de energía eléctrica en las empresas es la calidad de esta, pues influye en la eficiencia de los equipos eléctricos que la usan.

Otro término empleado en la **auditorías eléctricas** es la "calidad de energía eléctrica" es para describir la variación de la tensión, corriente y frecuencia en el sistema eléctrico.

Históricamente, la mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias de estos tres parámetros.

Sin embargo, en los últimos años se han agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos no tolerantes a estas variaciones, incluyendo a los controlados electrónicamente.

Las perturbaciones en la calidad del suministro definidas por el estándar del IEEE han sido organizadas en siete categorías, según la forma de la onda:

- Transitorios
- Interrupciones
- Bajada de tensión / subtensión
- Aumento de tensión / sobretensión
- Distorsión de la forma de onda
- Fluctuaciones de tensión
- Variaciones de frecuencia

Los estudios de calidad de la energía eléctrica nos permiten detectar las desviaciones que se presenten para poder así establecer medidas correctivas.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar los problemas de calidad eléctrica a través de una **auditoría eléctrica**: transitorios, armónicas, regulación de voltaje, consumo, factor de potencia, balanceo de fases, revisión del sistema de tierras y fluctuaciones dinámicas de voltaje, de la instalación eléctrica en Almacenes EZA, al mismo tiempo, poder determinar la afectación que tiene sobre el sistema y equipos finales y verificar que cumplan con la norma provisional "perturbaciones permisibles en la forma de onda de tensión y corriente del suministro de energía eléctrica".

II. Antecedentes

Según el Informe Mundial de Energía 2009 de la ONU, el aumento de la eficiencia energética y las tecnologías limpias permitirán que la cantidad de energía primaria requerida para un servicio dado pueda ser reducida, de forma rentable, entre un 25% hasta un 45% del consumo para los próximos 20 años en países en desarrollo. Nicaragua al 2012 presenta, la intensidad energética más alta de la región centroamericana: 3 BEP (Barriles equivalentes de petróleo), demandando más energía por cada mil dólares de Producto Interno Bruto (PIB) que la mayoría de los países vecinos con niveles de desarrollo similar.

El Ministerio de Energía y Minas en su informe Balance Energético Nacional 2011, del 100% de la energía que se utiliza en Nicaragua el 11.5% (241 ktep) es consumida como energía eléctrica. El sector industrial ocupó 33.24% (80 ktep) de la energía eléctrica total y el sector público, comercio y servicios el equivalente al 29% (70 ktep). Tomando en cuenta el 15% de ahorro por aplicar medidas de uso racional de la energía y conservación antes mencionados, esto se proyectaría en ahorros equivalentes a 22.5 ktep, que se podrían expresar como 255.71 GWh dejándose de emitir al medio ambiente 135.53 kilo toneladas de CO₂.

El incremento de la productividad de las Pequeñas y Medianas empresas (PYME), las cuales representan aproximadamente el 90% en Nicaragua y contribuyen alrededor del 40% del Producto Interno Bruto; no sólo es pertinente, sino crucial, para el fortalecimiento económico, ambiental y social del país. No obstante, la baja capacidad creada en eficiencia energética y la aplicación de tecnologías obsoletas en las empresas PYME, han ocasionado pérdidas a los diferentes sectores productivos debido a los costos de los recursos energéticos.

En estas circunstancias, surge la oportunidad de implementar medidas de ahorro y eficiencia eléctrica en las empresas nicaragüenses. La transferencia e implantación de prácticas sobre eficiencia eléctrica en la pequeña, mediana y grande industria requiere de capacidades técnicas, instrumentos de promoción y de inversiones, especialmente en los países de economías emergentes.

Actualmente las instalaciones eléctricas de Almacenes EZA presenta muchas distorsiones del orden eléctrico dispara las protecciones (breaker) de algunos circuitos de derivación y además mal uso de la energía por parte de los empleados.

Otra consecuencia más notable de esto es que al estar desbalanceadas las cargas esto provoca exagerado consumo energético y por lo tanto consumo monetario, sin contar el constante apagado de los equipos de climatización.

Podemos decir que existe un problema de calidad de la energía eléctrica cuando ocurre cualquier desviación de la tensión, la corriente o la frecuencia que provoque la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los usuarios; asimismo cuando ocurre alguna interrupción del flujo de energía eléctrica.

Los efectos asociados a problemas de calidad de la energía son:

- Incremento en las pérdidas de energía.
- Daños a la producción, a la economía y la competitividad empresarial
- Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort.

Además, también el almacén ha agregado nuevas cargas al sistema eléctrico lo que ha ocasionado un desbalanceo considerablemente en el sistema trifásico, ya que una de la línea tenía más corriente que las otras dos líneas, y esto ocasiona calentamiento en las líneas de suministro.

III. Objetivos del Estudio

3.1. Objetivo General

- Realizar estudio de auditoria eléctrica para determinar las afectaciones en el sistema eléctrico de ALMACENES EZA.

3.2 Objetivo Especifico

- Evaluar las mediciones realizadas sobre auditoria eléctrica para el desarrollo del estudio e incluir resultado de las mediciones efectuadas donde se presentarán tablas y gráficos
- Reducir los costos en la facturación de energía.
- Utilizar el equipo analizador de red fluke 43B para las respectivas mediciones de campo.
- Aplicar una metodología de acuerdo a las características de la planta que permita realizar la auditoria eléctrica.

.

.

IV . Justificación

Actualmente, el estudio de auditoria ha adquirido mucha importancia y tal vez la razón más importante es la búsqueda del aumento de productividad y competitividad de las empresas. Así mismo porque existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad.

La importancia del estudio se fundamenta en poder analizar las oportunidades de ahorro de los equipos eléctricos en la industria, es conveniente analizar la secuencia que sigue la energía eléctrica desde que se genera hasta que se consume.

Cabe señalar que las pérdidas energéticas se producen en todas las partes de una instalación eléctrica. Esto es, generación, transporte, distribución y consumo. Las empresas, para conseguir ahorros, pueden actuar tan sólo sobre su consumo eléctrico, por lo tanto, el ahorro de energía se centrará en los procesos de producción.

Se pretende verificar en situ las mediciones de campo, como el voltaje, la corriente, consumo de potencia diario, mediciones del factor de potencia actual para confirmar los datos facilitado por el jefe de mantenimiento del almacén, si fuese necesario analizarlos con la factura eléctrica

Es importante destacar que esta experiencia impactara positivamente tanto en los estudiantes como en los docentes que desearan conocer y profundizar en el estudio de la calidad de la energía eléctrica.

V. Marco Teórico

La auditoría eléctrica es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un edificio, proceso o sistema con el objetivo de comprender la energía dinámica del sistema bajo estudio. Normalmente una auditoría eléctrica se lleva a cabo para buscar oportunidades para reducir la cantidad de energía de entrada en el sistema sin afectar negativamente la salida. Cuando el objeto de estudio es un edificio ocupado se busca reducir el consumo de energía, manteniendo y mejorando la seguridad.

La auditoría preliminar está compuesta por diversos estudios los cuales son implementados al edificio que se le realiza la auditoría, estos son: análisis de redes, estudios termo gráficos, estudios de resistencia óhmica, estudio de meguer. En el análisis de redes se estudian las perturbaciones en el sistema eléctrico.

Según las perturbaciones en la calidad del suministro definidas por el estándar del IEEE han sido organizadas en siete categorías, según la forma de la onda: [1].

- Transitorios
- Interrupciones
- Bajada de tensión / subtensión
- Aumento de tensión / sobretensión
- Distorsión de la forma de onda
- Fluctuaciones de tensión
- Variaciones de frecuencia

1. Características de las ondas de tensión y corriente

Las ondas de tensión y corriente están definidas por las siguientes características principales:

- Número de Fases. La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente.
-

-
- Amplitud de la onda: la amplitud de una onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda senoide.
 - Frecuencia de la onda: La frecuencia (f) del movimiento ondulatorio se define como el número de oscilaciones completas o ciclos por segundo ($f=1/T$).
 - Forma de la onda. [1].

2. Fenómenos electromagnéticos

Si tan sólo ayer se prestaba atención a un grupo relativamente limitado de fenómenos, hoy es necesario tomar en consideración un conjunto más amplio de indicadores de calidad, debido a sus efectos sobre el confort, la confiabilidad, el costo, el consumo, la demanda y el diseño de los sistemas de suministro eléctrico.

Paradójicamente, hay más problemas y son escasas o no existen personas preparadas o dedicadas a enfrentarlos. Según la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995 los fenómenos electromagnéticos pueden ser de tres tipos: [1].

- Variaciones en el valor RMS de la tensión o la corriente.
- Perturbaciones de carácter transitorio.
- Deformaciones en la forma de onda.

3. Características típicas de los fenómenos electromagnéticos

3.1 Transitorio impulsivo

Es un cambio súbito y unidireccional (positivo o negativo) en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos y de frecuencia diferente a la frecuencia del sistema de potencia.

Son de moderada y elevada magnitud, pero de corta duración medida en microsegundos. Normalmente están caracterizados por sus tiempos de ascenso (1 a 10 μsec) y descenso (20 a 150 μsec) y por su contenido espectral. [1].

3.2 Transitorios oscilatorios

Son un cambio súbito en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos, con polaridades positivas y negativas y de frecuencia diferente a la frecuencia de operación del sistema.

Este tipo de transitorio se describe por su contenido espectral, duración y magnitud. Por su frecuencia se clasifican en: transitorios de alta, media y baja frecuencia. [1].

- Los transitorios oscilatorios con una frecuencia mayor de 500 kHz y una duración típica medida en microsegundos (o varios ciclos de la frecuencia fundamental) son considerados transitorios oscilatorios de alta frecuencia.
- Cuando la frecuencia se encuentra entre 5 y 500 kHz se considera un transitorio de frecuencia media.
- Un transitorio con una frecuencia inferior a 5 kHz, y una duración de 0,3 ms a 50 ms, se considera un transitorio de **baja frecuencia**.

Sucede en los niveles de subtransmisión y distribución y en los sistemas industriales y es causado por diversos tipos de eventos. [1].

3.3 Variaciones de tensión de corta duración

a) Depresiones

Las depresiones (Sag o Dip), también conocidas como valles o huecos consisten en una reducción entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión o corriente con una duración de 0,5 ciclo a un minuto.

Las depresiones de tensión son normalmente asociadas a fallas del sistema, a la energización de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia.

Los efectos nocivos de las depresiones de tensión dependen de su duración y de su profundidad, estando relacionados con la desconexión de equipos de cómputo, PLC y contactores entre otros dispositivos. También presenta efectos sobre la velocidad de los motores.

Diferentes posibilidades existen para mitigar los efectos de los sags. La primera consiste en estabilizar la señal de tensión a través de acondicionadores de red, los cuales existen con diferentes principios y tecnologías. [1].

b) Crestas

Una cresta (Swell) se define como un incremento del valor R.M.S. de la tensión o la corriente entre 1,1 y 1,8 p.u. con una duración desde 0,5 ciclo a un minuto.

Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema, aunque no son tan comunes como las depresiones.

Un caso típico es la elevación temporal de la tensión en las fases no falladas durante una falla línea a tierra.

También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores. [1].

c) Interrupciones

Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u. por un período de tiempo que no excede un minuto.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o debidas al mal funcionamiento de los sistemas de control. Las interrupciones se caracterizan por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de su valor nominal.

El recierre instantáneo generalmente limita la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. La duración de una interrupción motivada por el funcionamiento indebido de equipos o pérdidas de conexión es irregular. [1].

3.4 Variaciones de tensión de larga duración

Son aquellas desviaciones del valor R.M.S. de la tensión que ocurren con una duración superior a un minuto. La norma ANSI C84.1 especifica las tolerancias en la tensión de estado estable en un sistema de potencia.

Una variación de voltaje se considera de larga duración cuando excede el límite de la ANSI por más de un minuto. Debe prestarse atención a los valores fuera de estos rangos.

En Nicaragua los límites están definidos por la norma retie entre +10% y -10% de la tensión nominal.

Tabla 1: Tolerancia para las Tensiones de acuerdo a la Norma ANSI

VALOR NOMINAL	RANGO DESEABLE	RANGO ACEPTABLE
120	126 - 114	127 - 110
208	218 - 197	220 - 191
240	252 - 228	254 - 220
277	291 - 263	293 - 254
480	504 - 456	508 - 440
2.400	2.525 - 2.340	2.540 - 2.280
4.160	4.370 - 4.050	4.400 - 3.950
4.800	5.040 - 4.680	5.080 - 4.560
13.800	14.490 - 13.460	14.520 - 13.110
34.500	36.230 - 33.640	36.510 - 32.780

Fuente: Norma ANSI C84.1.

3.4.1 Clasificación de las Variaciones de Tensión de Larga Duración

- a. **Sobretensión** es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.

Las sobretensiones son usualmente el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores. Generalmente se observa cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

La incorrecta selección del TAP en los transformadores ocasiona sobretensión en el sistema.

- b. Se entiende por baja tensión la reducción en el valor R.M.S. de la tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.

La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo. Los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de la carga.

La sobretensión y la baja tensión generalmente no se deben a fallas en el sistema. Estas son causadas comúnmente por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión. Estas variaciones se registran cuando se monitorea el valor R.M.S. de la tensión contra el tiempo.

- c. Se considera una **interrupción sostenida** cuando la ausencia de tensión se manifiesta por un período superior a un minuto. Este tipo de interrupciones frecuentemente son permanentes y requieren la intervención del hombre para restablecer el sistema. [1].
-

3.5 Desequilibrio de tensiones

El desequilibrio de Tensiones en un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales y puede ser definido como la desviación máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje.

El desbalance también puede ser definido usando componentes simétricas como la relación de la componente de secuencia cero ó la componente de secuencia negativa entre la componente de secuencia positiva, expresada en porcentaje.

Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto, fallas de aislamiento en conductores no detectadas.

Se recomienda que el desequilibrio de tensiones sea menor al 2% . [1].

3.6 Distorsión de la forma de onda

La distorsión de la forma de onda es una desviación estable del comportamiento idealmente sinusoidal de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental del sistema de potencia. Se caracteriza, principalmente, por el contenido espectral de la desviación.

Existen cinco formas primarias de distorsión de la forma de onda:

- Corrimiento DC
 - Armónicos
 - Interarmónicos
 - Hendiduras
 - Ruido
-

a) **Corriente DC**

La presencia de una tensión o corriente directa (DC) en un sistema de corriente alterna (AC) de potencia se denomina corrimiento DC (DC offset). Esto puede ocurrir debido al efecto de la rectificación de media onda, extensores de vida o controladores de luces incandescentes. Este tipo de controlador, por ejemplo, puede consistir en diodos que reducen el valor R.M.S. de la tensión de alimentación por rectificación de media onda.

Efectos de la presencia de DC en redes de AC:

La corriente directa en redes de corriente alterna produce efectos perjudiciales al polarizar los núcleos de los transformadores de forma que se saturen en operación normal causando el calentamiento y la pérdida de vida útil en estos equipos.

La corriente directa es una causa potencial del aumento de la corrosión en los electrodos de puesta a tierra y en otros conductores y conectores.

b) **Armónicos**

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia fundamental del sistema la cual, para el caso de nuestro país es 60 Hz.

Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia.

El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión.

Dentro de los efectos nocivos que presentan los armónicos, se pueden citar los siguientes: [1].

-
- Pueden causar errores adicionales en las lecturas de los medidores de electricidad, tipo disco de inducción.
 - Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas, asociadas con las diferentes corrientes armónicas, causan vibraciones y ruido acústico en transformadores, reactores y máquinas rotativas.
 - Son la causa de interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control.
 - Provocan la disminución del factor de potencia.
 - Están asociados con el calentamiento de condensadores.
 - Pueden provocar ferroresonancia.
 - Provocan calentamiento adicional debido al incremento de las pérdidas en transformadores y máquinas.
 - Al incrementarse la corriente debido a los armónicos, se aumentan el calentamiento y de las pérdidas en los cables. Como caso específico, se puede mencionar la presencia de mayor corriente en los neutros de los sistemas de baja tensión.
 - Causan sobrecargas en transformadores, máquinas y cables de los sistemas eléctricos.
 - Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en los sistemas electrónicos. Por ejemplo, afectan el normal desempeño de los tiristores.

c) Interarmónicos

Se llaman Interarmónicos a las tensiones o corrientes con componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual trabaja el sistema.

Los Interarmónicos se pueden encontrar en redes de todas las clases de tensiones. Las principales fuentes de Interarmónicos son los convertidores estáticos de frecuencia, los ciclos convertidores, los motores asincrónicos y los dispositivos de arco.

Efectos de calentamientos, similares a los producidos por los armónicos, son causados por los Interarmónicos. Debido a que los Interarmónicos son fuentes de son fuentes de las fluctuaciones de tensión, se presenta alto riesgo de la generación de flicker.

La mitigación de los efectos de los Interarmónicos se realiza con base en filtros pasivos

d) Muestras de Tensión (Notching)

Conocidas también como hendiduras, las muescas son perturbaciones periódicas en la forma de onda de tensión, causadas por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

Como ocurren continuamente, son caracterizadas por el espectro armónico de la tensión afectada.

Generalmente son tratadas como un caso especial ya que los componentes de frecuencia asociados a ellas pueden ser tan altos que no son fácilmente detectados por los equipos de medición normalmente utilizados para el análisis armónico.

Las muescas de tensión causan fallas en las CPU, impresoras láser y mal funcionamiento de algunos equipos electrónicos.

La eliminación de las muescas de tensión implica el aislamiento, de los equipos sensibles, de la fuente que las está produciendo. La inserción de inserción de reactancias inductivas también puede servir como solución, para mitigar el efecto de las muescas.

e) Ruido

El ruido es una señal eléctrica indeseable con un contenido espectral inferior a 200 kHz superpuesto a la tensión o a la corriente del sistema en los conductores de las fases o en los conductores neutros o líneas de señales.

3.7 Fluctuaciones de tensión

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas de la envolvente de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la tensión cuya magnitud no excede normalmente los rangos de tensión especificados por la norma ANSI C84.1.

Las cargas que muestran variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente pueden causar variaciones de tensión que son frecuentemente denominadas “flicker”.

El término flicker se deriva del impacto de las fluctuaciones de tensión en las lámparas al ser percibidas por el ojo humano como titilaciones.

Una de las causas más comunes de las fluctuaciones de tensión en los sistemas de transmisión y distribución son los hornos de arco. En otros sistemas más débiles las fluctuaciones se pueden deber a la presencia de equipos de soldadura por arco y cargas similares.

La señal de flicker se define por su magnitud R.M.S. expresada como por ciento de la tensión nominal.

Típicamente magnitudes tan bajas como 0,5% de la tensión del sistema pueden producir un titileo perceptible en las lámparas si la frecuencia está en el rango de 6 a 8 Hz.

El flicker de tensión se mide con respecto a la sensibilidad del ojo humano. [1].

3.8 Variaciones de frecuencia en el sistema de potencia

La variación de frecuencia es la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de su valor nominal especificado (60 Hz en el caso de Colombia).

La frecuencia está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores que componen el sistema. Normalmente existen ligeras variaciones de frecuencia debido a la fluctuación del balance entre la generación y la demanda de potencia de un sistema.

VI. Hipótesis y Variable

Hipótesis

La necesidad de una metodología teórico-práctico para la implementación de un estudio de auditoria eléctrica en una industria que permita racionalizar el uso de la misma además como parte complementaria a la formación técnica-profesional para el desarrollo de habilidades y destrezas en el área de eléctrica.

Variables

1. Pertinencia de la Información.
2. Funcionalidad de la Información.
3. Adecuación de la Información.
4. Parámetros eléctricos de Interés Tratados (Voltaje, Corriente, Factor de Potencia, armónicos, transitorios).

V II. M e t o d o l o g í a d e T r a b a j o

La metodología que se utilizara para este estudio fue la investigación de campo y cuantitativa. La investigación campo porque se recaba información en el lugar de los hechos, acopia información y cuantitativa porque genera datos apoyados en tratamiento estadístico. (Metodología del BID).

La presente metodología describe paso a paso las actividades a realizar para ejecutar una Auditoría Eléctrica en una instalación del sector de servicios y presenta una serie de formatos de apoyo para realizar dichas actividades. También presenta a manera de lista de verificación las principales áreas de oportunidad de ahorro de energía que se tienen en la industria, de manera tal que sirvan de guía para que al lector se le facilite el trabajo de ejecución de la auditoría eléctrica.

En esta metodología se hace un análisis de las características de toda la instalación eléctrica y los equipos consumidores de energía eléctrica.

El alcance del trabajo a realizar será:

- T o m a d e d a t o s i n i c i a l
- A u d i t o r í a e l é c t r i c a d e c a d a u n a d e l a s i n s t a l a c i o n e s e l é c t r i c a s (P a n e l e s d e D i s t r i b u c i ó n)
- A u d i t o r í a e l é c t r i c a d e c a d a u n o d e l o s a p a r a t o s c o n s u m i d o r e s d e e n e r g í a (I l u m i n a c i ó n , r e f r i g e r a c i ó n , a i r e a c o n d i c i o n a d o , p r o d u c c i ó n ,)
- A n á l i s i s d e r e s u l t a d o s f i n a l e s
- E l a b o r a c i ó n d e p r o p u e s t a s d e a c t u a c i ó n

A continuación, se describen los pasos a seguir:

1. Programación de los recursos y el tiempo

La primera actividad a realizar es concentrar y revisar toda la información disponible de la planta, tal como:

- Nombre de la empresa.
- Rama industrial a la que pertenece y productos que elabora.
- Tamaño y edad de la planta.
- Localización de la planta.
- Estructura administrativa, anotando el nombre y cargo de los principales directivos
- y las personas involucradas con el programa de ahorro de energía.
- Horarios típicos de operación.
- Líneas de producción y productos principales.
- Consumos anuales de los energéticos utilizados por la planta.
- Costos de los energéticos.

2. Recopilar datos y recorrido por la planta

El objetivo de este paso es el de reunir datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía de la planta, tales como: historial de producción y consumo de energéticos, información recopilada como resultado de una inspección visual a toda la planta, programas de mantenimiento y levantamiento de datos de equipos consumidores de energía.

- **Historial de consumo y producción**
 - **Inspección visual**
 - **Análisis de los programas de operación y mantenimiento**
 - **Registro de levantamiento de datos**
-

3. Toma de mediciones en campo

En esta actividad se realizarán las mediciones de los parámetros de operación de los equipos, con la finalidad de determinar la eficiencia energética de cada uno de ellos, así como con la finalidad de obtener información que permita proponer mejoras.

➤ Mediciones a equipos consumidores de energía eléctrica

- Iluminación
- Motores
- Aires acondicionados
- Equipos de bombeo
- Fugas de aire
- Sistemas de refrigeración

4. Analizar los datos

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores del estudio, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad de ahorro de energía que ofrezca la instalación.

Con la finalidad de identificar a los equipos y sistemas más intensivos en el consumo de energía, la primera actividad a realizar en esta etapa de la, es la realización de los balances de energía.

Por otra parte, con la finalidad de asegurar que se están evaluando todas las medidas de ahorro posibles, es muy importante el contar con una lista de verificación de áreas de oportunidad de ahorro por tipo de aplicación.

➤ Elaboración de balances de energía

➤ Listas de medidas de ahorro de energía

5. Elaboración de la cartera de proyectos

Una vez que las oportunidades de ahorro de energía han sido identificadas y analizadas, se deberá realizar una cartera de proyectos, donde para cada una de las medidas de ahorro propuestas se presente la siguiente información:

- Número descripción de la medida
 - Resumen que contiene:
 - Ahorro de Energía (kW h/año).
 - Emisiones evitadas de gases de efecto invernadero (tCO₂/año).
 - Ahorro económico (USD/año).
 - Inversiones necesarias (USD).
 - Periodo de Recuperación de la Inversión (años).
 - Descripción de la situación actual. Breve descripción de la situación actual que dé pie a la medida propuesta.
 - Descripción de las acciones concretas a realizar para la implementación de la medida. Describir brevemente las acciones para implantar la medida.
 - Cálculo de los ahorros. Describir los ahorros que se pretenden obtener al implantar esta medida.
 - Desglose de las inversiones (cotización). El desglosar las inversiones necesarias para implementar la medida de ahorro de energía.
 - Evaluación económica. Dicha evaluación deberá contener al menos el cálculo del período de retorno de la inversión.
-

6. Elaborar el informe de la auditoría eléctrica

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones del estudio de auditoría eléctrica, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, y el plan de acción para implantarlas, conteniendo las bases y los pasos seguidos en el análisis.

Este informe también deberá de presentar todos los datos energéticos básicos de la planta en una forma consistente para que se puedan comparar con los parámetros energéticos de diferentes plantas.

VIII. Resultados del estudio de auditoría

Se realiza el presente estudio de auditoría eléctrica en Almacenes EZA, con la finalidad de conocer el comportamiento actual del sistema eléctrico y recomendar soluciones a los problemas en el sistema eléctrico actual.

Se realizan y analizan monitoreo de parámetros de estado estable (perfil de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, distorsión armónica en voltaje y distorsión armónica en corriente), encontrándose comportamientos diferentes para las mediciones consideradas, debido principalmente al tipo de carga instalada.

El reporte muestra las conclusiones sobre violaciones a la norma, instalación eléctrica, y sobre cada uno de los disturbios de calidad de energía registrados, recomendando el sistema de protección más adecuado para la solución de los problemas.

Los puntos considerados para el monitoreo, los cuales forman una parte del total de la carga instalada en el panel principal.

1. Metodología para Monitoreo

Para la realización del presente estudio, se hizo uso de un equipo trifásico marca Fluke 43B (POWER QUALITY ANALYZER) con sensores de corriente de una capacidad de 1,000 amperes y Pinza Amperimétrica marca Temars.

El equipo fue conectado en las terminales de entrada del interruptor principal del transformador, tomando así el total de la carga conectada durante el período de medición.

El período de medición fue de 24 horas continuas en el panel principal, tomado muestras cada 10 segundos. Esto representa un muestreo total de 8,640 muestras para cada parámetro eléctrico registrado.

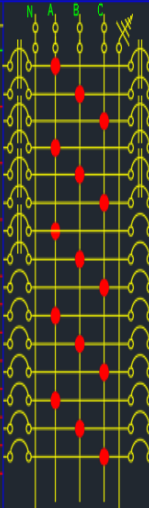
Las 8,640 muestras registradas se almacenan en memoria y se procesan para obtener los perfiles de operación de cada parámetro eléctrico.

De estos parámetros eléctricos se obtienen los valores máximos, mínimos y promedios para establecer los límites de operación del sistema eléctrico y son comparados con lo que recomiendan los estándares internacionales.

Además, se programó el equipo para detectar eventos de tipo transitorio en voltaje con variaciones por encima del 20% de voltaje pico, esto con la finalidad de evaluar si los arranques de cargas internas impactan en el voltaje de suministro, o en su defecto registrar los eventos que son generados externamente y son reflejados hacia este nodo.

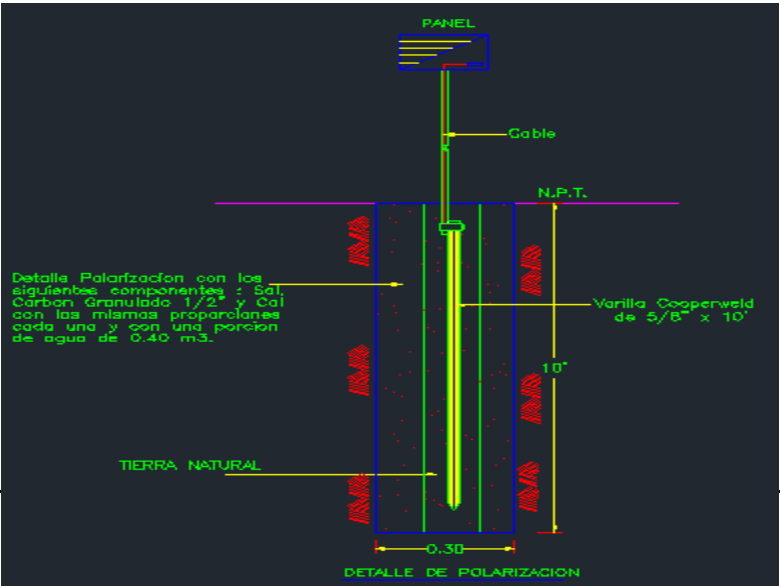
2. Diagrama Unifilar eléctrico de la instalación

b) Panel secundario 3 polos

PANEL: PE CUTLER HAMMER										INTERRUPTOR: 225 AMPERIOS, 3 POLOS										ALIMENTADO CON: 3 #3/0 AWG-THHN									
CAPACIDAD MAXIMA: ---										CAPACIDAD DE BARRAS: 225 AMPS.										ACOMETIDA: SOPORTE DESDE: P									
SISTEMA ELECTRICO: 120/208VOLT.																				WFE TOP E									
N°	DESCRIPCION	CARGA kw	CONDUCTORES		TUBERIA		BREAKER		FASES / AMP.						FASES / AMP.			BREAKER		TUBERIA		CONDUCTORES		CARGA kw	DESCRIPCION				
			TIPO	CAL.	#	TIPO	AMP.	POLO	A	B	C				A	B	C	POLO	AMP.	TIPO	#	CAL.	TIPO						
1	ALIMENTACION PANEL ELECTRICO P-1	10.70	THHN	2#4/1#6	1 1/2"	PVC	90	2	45.41	43.73					45.41	43.73		2	90	PVC	1 1/2"	2#4/1#6	THHN	10.70	ALIMENTACION PANEL ELE				
5	ALIMENTACION PANEL ELECTRICO P-2	10.70	THHN	2#4/1#6	1 1/2"	PVC	90	2	43.73		45.41				43.73		45.41	2	90	PVC	1 1/2"	2#4/1#6	THHN	10.70	ALIMENTACION PANEL ELE				
9	ALIMENTACION PANEL ELECTRICO P-3	10.70	THHN	2#4/1#6	1 1/2"	PVC	90	2		45.41	43.73					45.41	43.73	2	90	PVC	1 1/2"	2#4/1#6	THHN	10.70	ALIMENTACION PANEL ELE				
13	ALIMENTACION PANEL P-AP	8.85	THHN	2#2/1#4	1 1/2"	PVC	70	2	42.27	42.27															RESERVA				
17	RESERVA																								RESERVA				
19	RESERVA																								RESERVA				
21	RESERVA																								RESERVA				
23	RESERVA																								RESERVA				
25	RESERVA																								RESERVA				
27	RESERVA																								RESERVA				
29	RESERVA																								RESERVA				
TOTALES		40.95							13.19	13.19	89.14				89.14	89.14	89.14							32.10	TOTA				

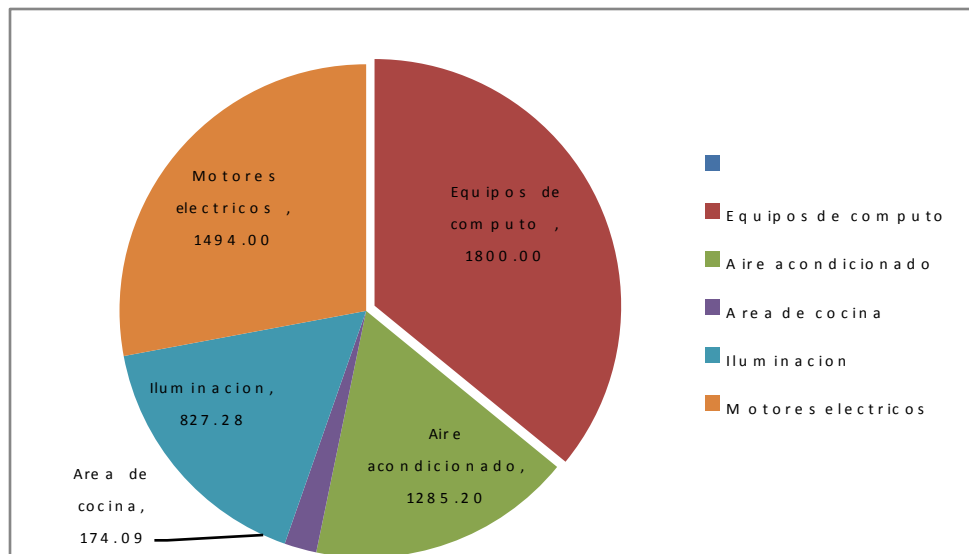
4. Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra es inexistente.



5. Distribución del consumo energético

El consumo general al mes se distribuye de la siguiente forma según su Utilización:

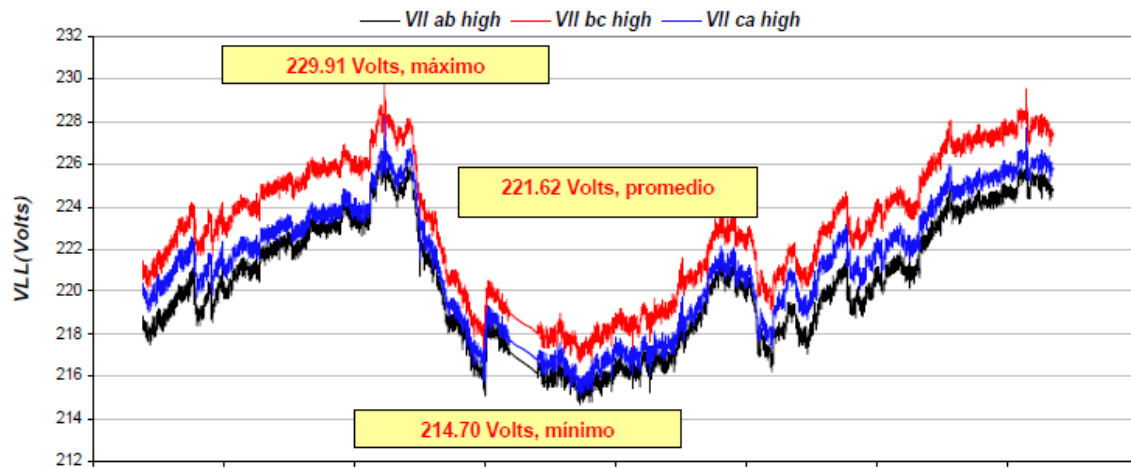


Los equipos utilizados



6. Resultados de los fenómenos electromagnéticos en la instalación

A. Voltaje Máximo de Línea a Línea

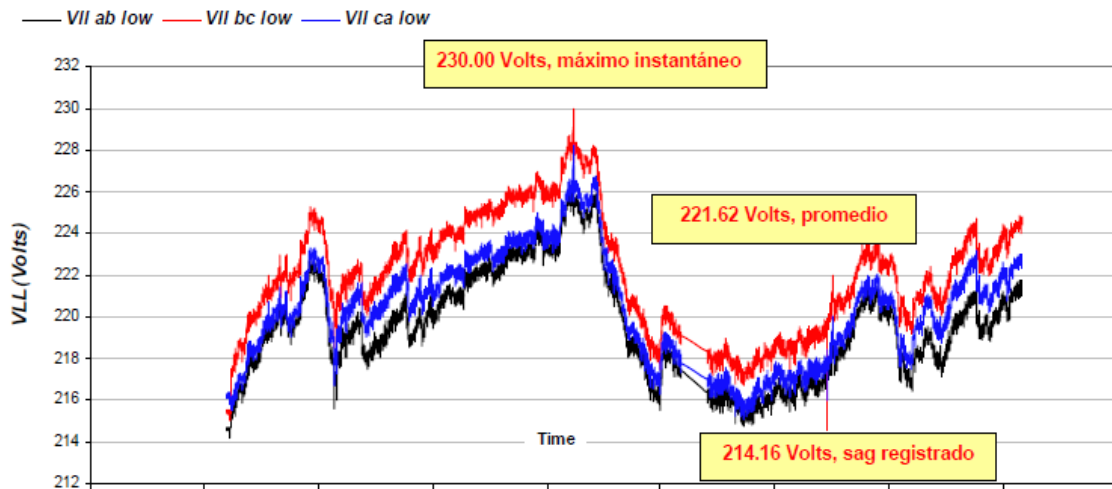


En la gráfica se muestra el perfil del voltaje máximo en un período de 24 horas. El comportamiento del voltaje promedio es de **221.62 Volts**, valor que se encuentra 0.74 % arriba del valor nominal de **220 Volts** de la red,

La ventana de variación presenta un máximo de **229.91 Volts** (4.50% arriba del valor nominal). Los valores máximos se presentaron de manera instantánea.

Sin embargo, estos valores se encuentran DENTRO del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-1999 tabla 4-3 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

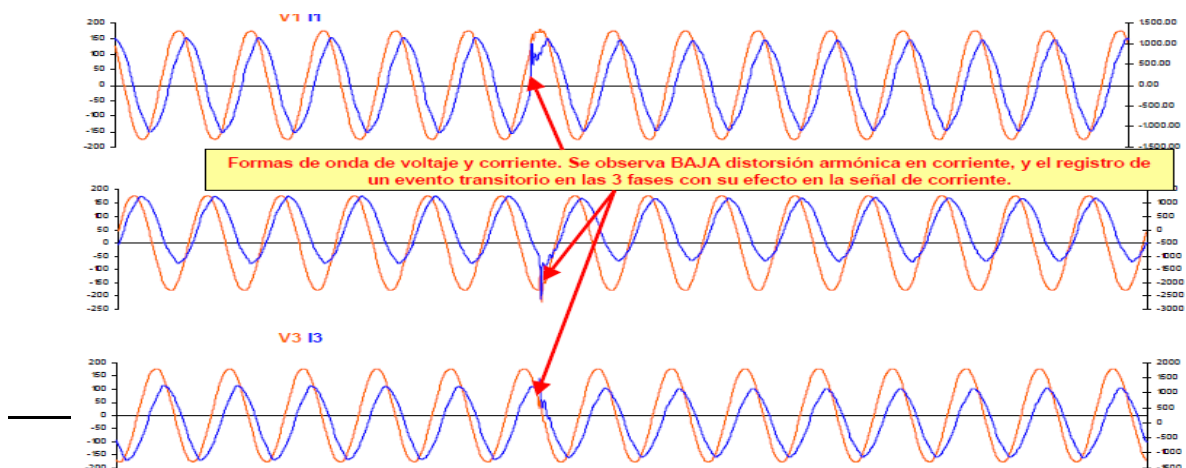
B. Voltaje Mínimo de Línea a Línea



En la gráfica se muestra el perfil del voltaje mínimo en un período de 24 horas. El comportamiento del voltaje promedio es de 221.62 Volts, valor que se encuentra 0.74 % arriba del valor nominal de 220 Volts de la red,

La ventana de variación presenta un mínimo de 214.16 Volts (-2.65% abajo del valor nominal). Los valores mínimos se presentaron de manera instantánea, sin embargo estos valores se encuentra DENTRO del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-1999 tabla 4-3 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

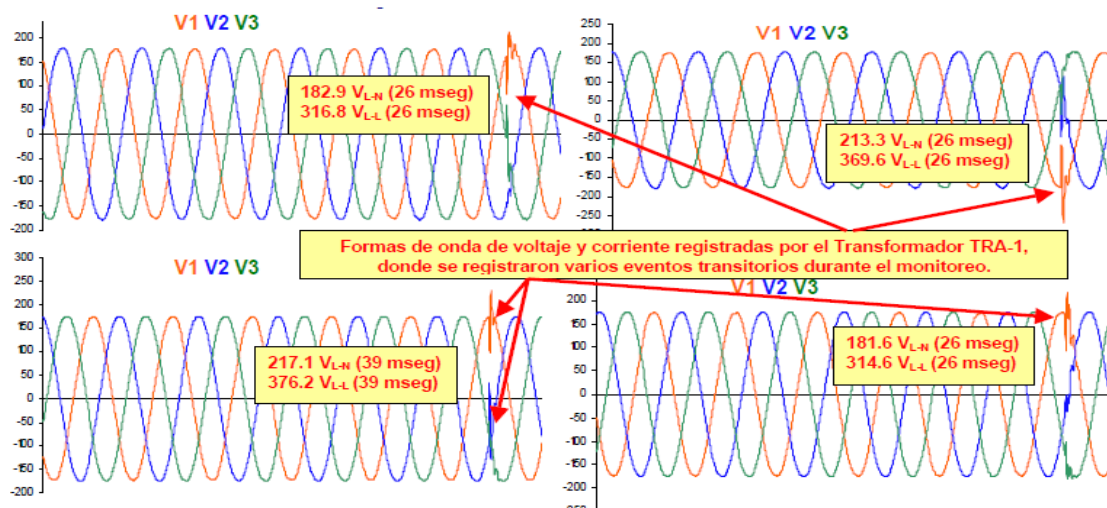
C. Formas de Onda Voltaje y Corriente



En los gráficos se muestran las formas de onda individuales (por fase), donde se observa BAJA distorsión armónica y un evento transitorio de voltaje registrado en las 3 fases.

Este tipo de evento es el más destructivo para cargas electrónicas. En la siguiente página se muestran los eventos más dañinos registrados. En las 24 horas se registraron 18 eventos.

D. Eventos Transitorios de Voltaje

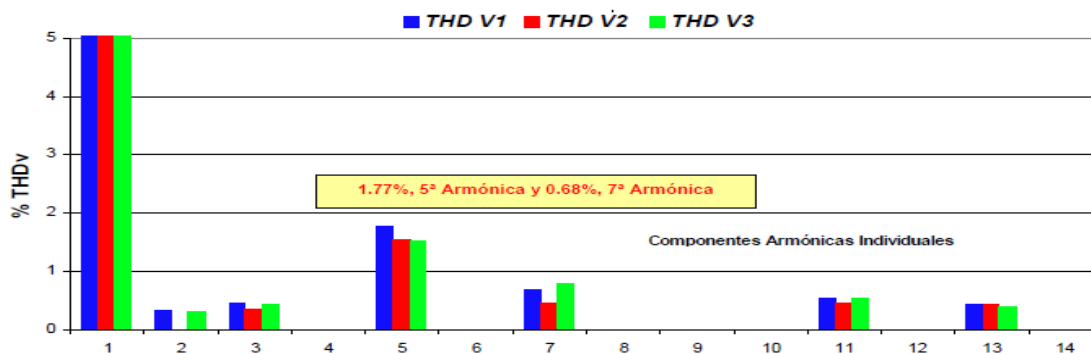


En

los gráficos se muestran los eventos transitorios más altos registrados. La máxima magnitud fue de 376.2 Volts, con una duración de 39 msec., lo cual representa un 71% arriba del valor nominal de 220 Volts.

Este tipo de evento se clasifica como "IMPULSO" y es generado de manera externa, o interna por cargas instaladas en la planta.

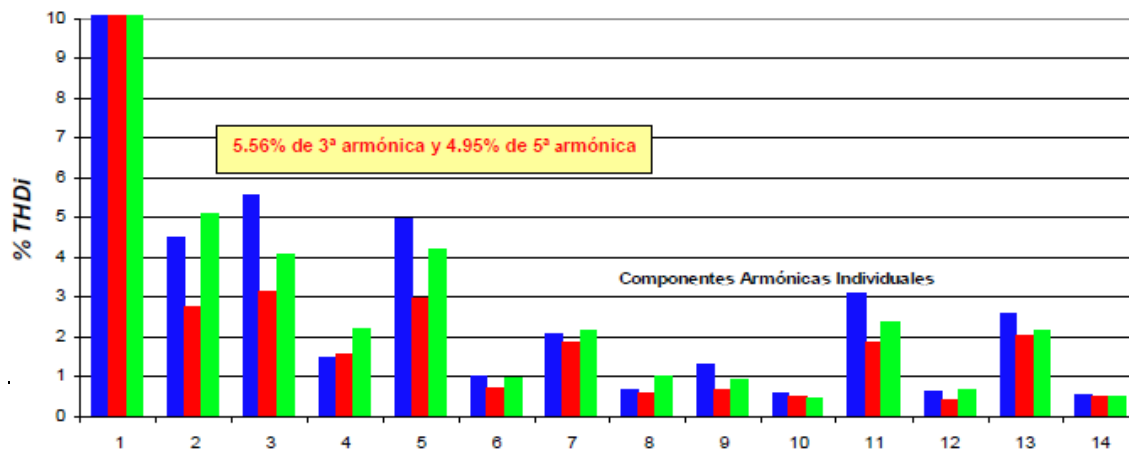
E. Espectro Armónico en la Señal de Voltaje (THDv)



En la gráfica se muestra el espectro armónico de la señal en voltaje (THDv) del suministro de la red eléctrica de entrada. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por el STD. 519-1992.

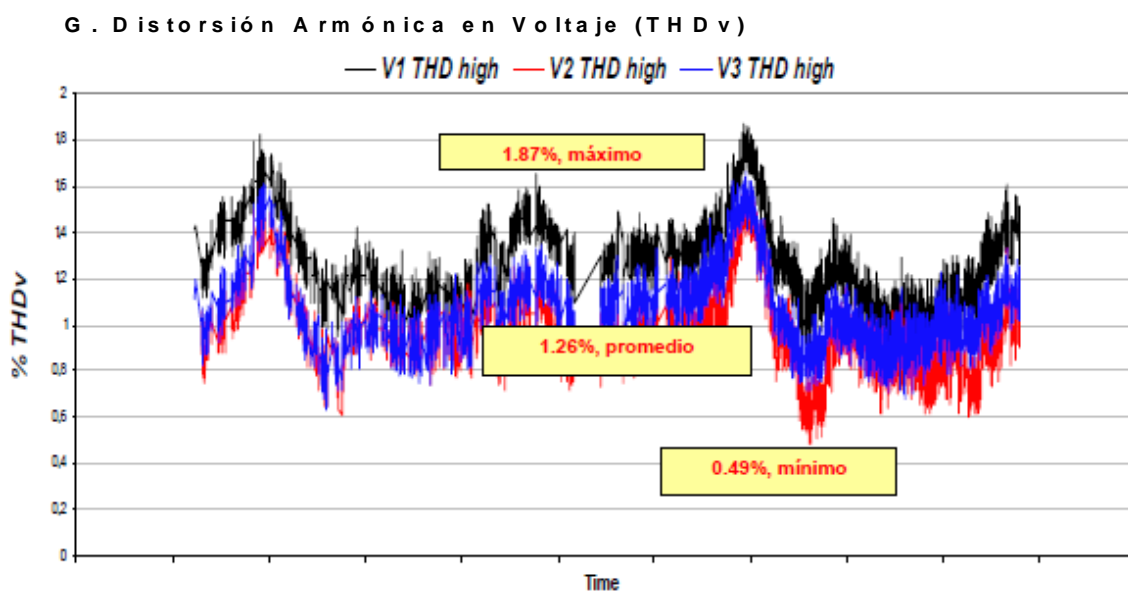
El valor total de THDv es de 1.87%, con una contribución individual principalmente de 5ª y 7ª armónicas. (Ver en el resumen el análisis armónico).

F. Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi)



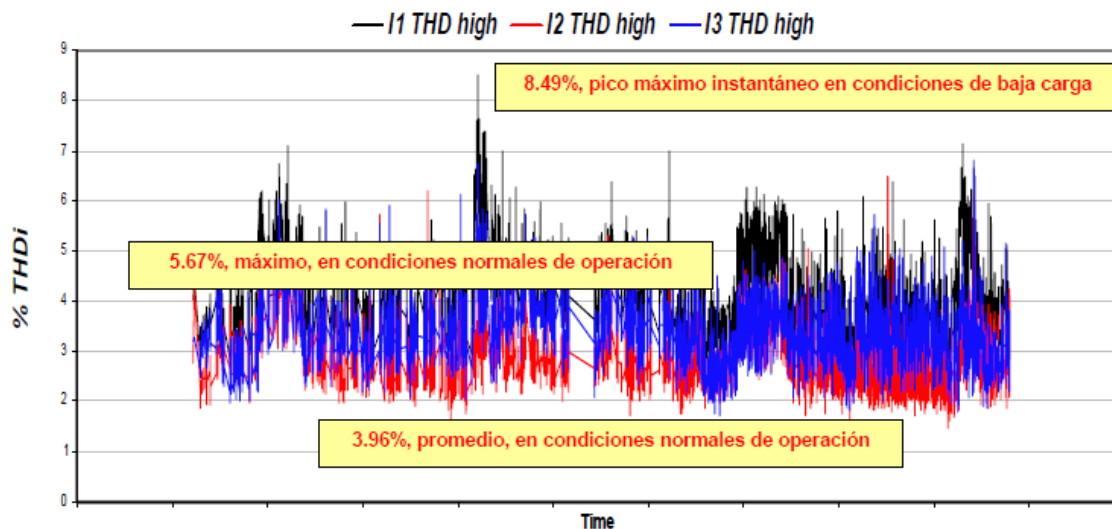
En la gráfica se muestra el espectro armónico de la señal en corriente (THDi) del suministro de la red eléctrica de entrada. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por el STD. 519-1992.

El valor total de THDi es de 5.67%, con una contribución individual principalmente de 3ª y 5ª Armónicas. (Ver en el resumen el análisis armónico).



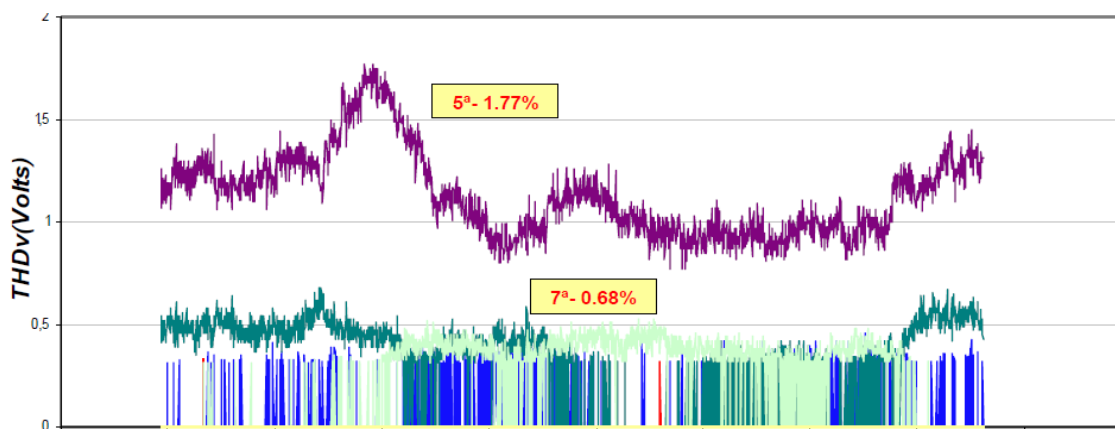
En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica en voltaje (THDv) en un período de 48 horas. Se registró un porcentaje promedio de 1.26% y un valor máximo de 1.87%, lo cual se encuentra DENTRO del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

H. Distorsión Armónica en Corriente (THDi)



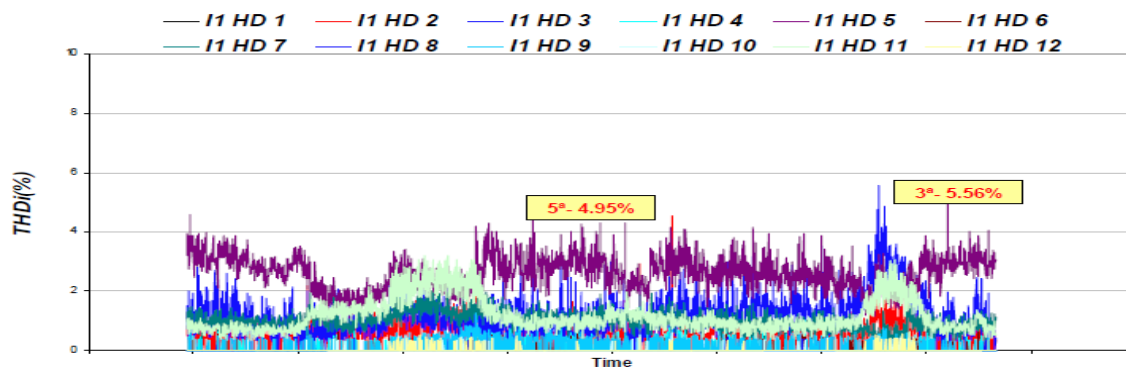
En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica en corriente (THDi) en un período de 24 horas. Se registró un porcentaje máximo de 5.67% y un valor promedio de 3.96%, lo cual se encuentra DENTRO del porcentaje recomendado por el STD. IEEE 519-1992.

I. Distorsión Armónica en Voltaje (Componente Individual) (THDv)



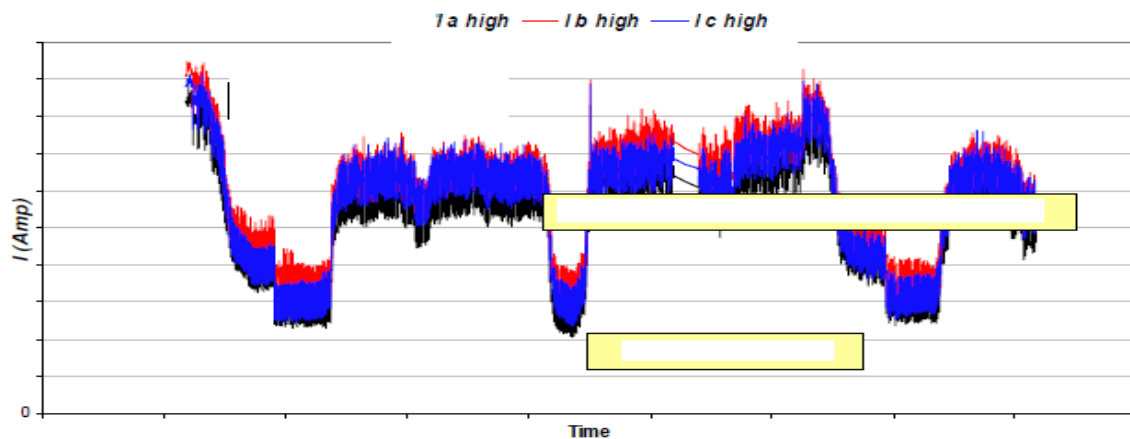
En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica individual en voltaje en un período de 24 horas. Se registró un porcentaje máximo de 1.77% de 5^a armónica y un valor máximo de 0.68% de 7^a armónica, los cuales se encuentran DENTRO del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

J. Distorsión Armónica en Corriente (Componente Individual) (THDi)



En la gráfica se muestra el perfil de distorsión armónica individual en corriente en un período de 24 horas. Se registró un porcentaje máximo de 5.56% de 3ª armónica y un valor máximo de 4.95% de 7ª armónica, las cuales se encuentran DENTRO del porcentaje recomendado por el STD IEEE 519-1992.

K. Corriente Máxima de Línea



En la gráfica se muestra el perfil de corriente en un período de 24 horas. El valor de corriente promedio durante el período normal de operación fue de 76 Amp., registrando un valor máximo en corriente de 93 Amp. En el período completo de monitoreo se registró una corriente mínima de 75 Amp.

IX. Conclusiones

En base al análisis de las mediciones presentadas con anterioridad, así como las observaciones registradas durante el estudio de auditoria eléctrica realizado en los almacenes EZA ubicada en Managua, los días 4 al 5 de enero del 2019, se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones generales.

Los comentarios son en base a los criterios del National Electrical Code (NEC) y cumpliendo con la Norma eléctrica de Nicaragua, así como las recomendaciones de los estándares de la IEEE, std. 1100-1999 y std. 519-1992.

El almacén se alimenta de un banco de transformador ubicado cerca de las instalaciones, el cual para fines del monitoreo se realizó mediciones en el panel y el medidor trifásico de 220 Volts. Los problemas reportados por personal de la agencia son disparos de circuitos derivados y daños en tarjetas electrónicas y problemas con la planta eléctrica de emergencia.

Al comparar el balance de carga de las fases, se observa que a medida el número de equipo que generan armónicos es mayor, la distorsión armónica total de corriente aumenta, llevando en varios casos superar lo permitido por la norma.

- Se Realizaron mediciones sobre los parámetros eléctricos, Transitorios Interrupciones, Bajada de tensión / subtensión, Aumento de tensión sobretensión, Distorsión de la forma de onda, Fluctuaciones de tensión, Variaciones de frecuencia
- Se Evaluaron las mediciones realizadas sobre calidad de la energía para el desarrollo del estudio e incluir resultado de las mediciones efectuadas donde se presentarán tablas y gráficos
- Se Contribuyó al análisis del sistema eléctrico enfocado a cumplir con las normas eléctricas nacionales e internacionales.

X. Bibliografía

1. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems (IEEE Std. 519-1992). Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN 1-55937-239-7. Estados Unidos, 1993.
-

-
2. N E M A Standards Publication ANSI/N E M A M G 1-2003, "M otors and G enerators". National Electrical M anufacturers Association. Estados Unidos, 2004.
 3. Compendio de opciones de eficiencia energética, elaborado por C P m L-N. Managua, Nicaragua 2010.
 4. Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar Metodología de la Investigación. M c G raw Hill, México 1997.
 5. Manual de procedimientos para el uso eficiente de la energía en la industria y el comercio. Comisión de energéticos México, 1977.
 6. Investigación del Buró de eficiencia energética de la India.
http://beeindia.in/content.php?page=miscellaneous/useful_download.php)
-